

УДК 621.317.789

**Д.К. МАКОВ**, канд. техн. наук, доц. НТУУ "КПИ" (г. Киев),  
**Н.И. ПОВОРОЗНЮК**, канд. техн. наук, доц. НТУУ "КПИ" (г. Киев),  
**Ю.М. ВИНОГРАДОВ**, ст. преп. НТУУ "КПИ" (г. Киев),  
**А.Б. УСЛОНЦЕВ**, ст. науч. сотр. ИОЭ НАН Украины (г. Киев)

## **ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ НЕСИММЕТРИИ ТРЕХФАЗНОГО НАПРЯЖЕНИЯ**

В работе выполнен анализ уравнений преобразования трехфазного напряжения каскадным соединением фильтров симметричных составляющих (ФСС) при измерении коэффициента несимметрии (КНМ) основной частоты, предложены алгоритмы коррекции погрешностей от неидентичности параметров звеньев ФСС из-за разброса их параметров. Ил.: 1. Библиогр.: 10 назв.

**Ключевые слова:** фильтры симметричных составляющих (ФСС), коэффициент несимметрии (КНМ), алгоритмы коррекции погрешностей.

**Постановка проблемы и анализ литературы.** Вопросам качества электрической энергии в последние годы уделяется большое внимание, поскольку несоблюдение норм качества электрической энергии приводит к ухудшению электромагнитной совместимости электрических сетей электроснабжения и приемников электроэнергии.

С 1967 года ГОСТ 13109-67 нормировал показатели качества электроэнергии (ПКЭ), а с 18.06.1999 года они в системах электроснабжения общего назначения нормируются международным стандартом 13109-97.

При соблюдении стандартов достигается безопасность электропотребления, ресурсо- и энергосбережение, снижаются затраты на топливо и нагрузка на оборудование, используемые при генерировании дополнительной непроизводительной мощности.

Задача измерения показателей качества электроэнергии важна не только сама по себе, но и при создании и использовании схем симметрирования в трехфазных сетях [1, 2].

Одним из основных ПКЭ является коэффициент несимметрии, характеризующийся напряжением обратной последовательности (НОП) основной частоты. Для аналогового выделения напряжения обратной последовательности традиционно используются фильтры симметричных составляющих, описанные в литературе [3, 4].

Следует отметить, что при измерении КНМ основная трудность состоит в том, что необходимо выделить малое информативное значение напряжения обратной последовательности (до 4 В) на фоне большого (около 220 В) напряжения прямой последовательности при отклонении частоты напряжения исследуемой электрической сети (НИЭС) от расчетного для ФСС значения. Причина в том, что напряжение прямой последовательности (НПП) и НОП

являются напряжениями одной частоты и отличаются только последовательностью чередования фаз.

При измерении коэффициента несимметрии необходимо ослабить НПП по отношению к НОП не менее чем на 60 дБ. Это можно достигнуть подстройкой  $RC$ -элементов ФСС к частоте напряжения исследуемой электрической сети (НИЭС), каскадным соединением ФСС и другими техническими решениями. Если же ФСС изготовлен с элементами, неидентичными расчетным значениям, то трехфазное напряжение на выходе такого ФСС при подаче на его вход НПП воспринимается как трехфазное напряжение, содержащее НОП. Эта кажущаяся несимметрия является погрешностью от неидентичности элементов ФСС расчетным значениям. Эта кажущаяся несимметрия при измерении КНМ векторно складывается с реально существующей несимметрией НИЭС, что искажает результат измерения.

**Цель данной работы** – проведение анализа уравнений преобразования напряжения трехфазными ФСС для разработки измерительного преобразователя КНМ, рекомендаций по коррекции доминирующих погрешностей ФСС при измерении КНМ. Основное внимание уделяется коррекции погрешности от неидентичности элементов ФСС расчетным значениям.

С использованием введенных в [1] коэффициентов можно исследовать уравнения преобразования ФСС, выделить доминирующие аддитивные и мультипликативные составляющие погрешности при измерении КНМ, а также разработать рекомендации по коррекции этих погрешностей. В этой статье предложены алгоритмы работы измерителя КНМ [5] в несколько измерительных тактов с последующим алгебраическим сложением для выделения вектора напряжения, пропорционального КНМ. В этих алгоритмах структурными методами [6] скорректирована погрешность от неидентичности элементов ФСС расчетным значениям.

**Анализ уравнений преобразования ФСС.** Структура устройства, предназначенного для измерения коэффициента несимметрии, представлена на рис. 1. Фильтры симметричных составляющих включены каскадно и разделены согласующими каскадами. ФСС содержат в своих звеньях резисторы и конденсаторы, параметры  $R$ ,  $C$  которых отклоняются от своих расчетных значений вследствие разброса. Разброс параметров приводит к неидентичности коэффициента передачи ФСС для линейных напряжений  $\dot{U}_{ab}, \dot{U}_{bc}, \dot{U}_{ca}$ . В [1] получено рекуррентное выражение для линейных трехфазных напряжений  $\dot{U}_{aibi}, \dot{U}_{bici}, \dot{U}_{ciai}$  на выходах каскадно включенного  $i$ -го ФСС (рис. 1).

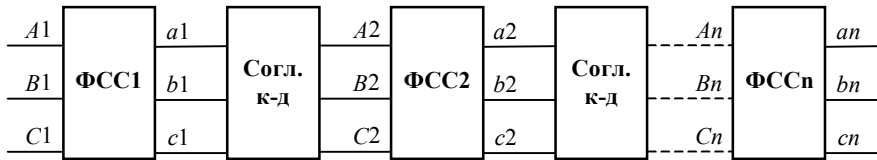


Рис.1. Каскадное соединение ФСС

$$\begin{pmatrix} \dot{U}_{aibi} & \dot{U}_{bici} & \dot{U}_{ciai} \end{pmatrix}^T = \dot{U}_{1(1)(i)}(a_+) + \dot{U}_{2(1)(i)}(a_-), \quad (1)$$

где:  $\begin{pmatrix} \end{pmatrix}^T$  – символ оператора транспонирования матрицы;

$\begin{pmatrix} \dot{U}_{aibi} & \dot{U}_{bici} & \dot{U}_{ciai} \end{pmatrix}^T$  – матрица трехфазных линейных напряжений на выходах  $i$ -го ФСС;

$$\dot{U}_{1(1)}(a_+) = \dot{U}_{1(1)} \begin{pmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{pmatrix} = \dot{U}_{1(1)} \begin{pmatrix} 1 & a^2 & a \end{pmatrix}^T \quad - \quad \text{напряжение прямой}$$

последовательности основной частоты;

$$\dot{U}_{2(1)}(a_-) = \dot{U}_{2(1)} \begin{pmatrix} 1 \\ a \\ a^2 \end{pmatrix} = \dot{U}_{2(1)} \begin{pmatrix} 1 & a & a^2 \end{pmatrix}^T \quad - \quad \text{напряжение обратной}$$

последовательности основной частоты;

$a = \exp(j 2\pi / 3)$  – поворотный множитель;

$\dot{U}_{1(1)(i)}(a_+) = \dot{\alpha}_i \dot{U}_{1(1)(i-1)}(a_+) + \dot{\gamma}_i \dot{U}_{2(1)(i-1)}(a_+) \quad - \quad \text{напряжения прямой}$   
последовательности на выходах  $i$ -го ФСС;

$\dot{U}_{2(1)(i)}(a_-) = \dot{\beta}_i \dot{U}_{2(1)(i-1)}(a_-) + \dot{\gamma}_i \dot{U}_{1(1)(i-1)}(a_-) \quad - \quad \text{напряжение обратной}$   
последовательности на выходах  $i$ -го ФСС;

$\dot{\alpha}_i = (\dot{U}_{aibi+} + a \dot{U}_{bici+} + a^2 \dot{U}_{ciai+}) / 3 \dot{U}_{1(1)(i-1)} \quad - \quad \text{коэффициент передачи } i\text{-го}$   
ФСС для напряжения прямой последовательности;

$\dot{\beta}_i = (\dot{U}_{aibi-} + a^2 \dot{U}_{bici-} + a \dot{U}_{ciai-}) / 3 \dot{U}_{2(1)(i-1)} \quad - \quad \text{то же для напряжения обратной}$   
последовательности;

$\dot{\gamma}_i = (\dot{U}_{aibi+} + a^2 \dot{U}_{bici+} + a \dot{U}_{ciai+}) / 3 \dot{U}_{1(1)(i-1)} \quad - \quad \text{коэффициент передачи}$   
напряжения прямой последовательности, обусловленный несимметрией ФСС  
вследствие разброса параметров его элементов;

$\dot{\gamma}_i' = (\dot{U}_{aibi-} + a \dot{U}_{bici-} + a^2 \dot{U}_{ciai-}) / 3 \dot{U}_{2(1)(i-1)} \quad - \quad \text{то же для напряжений}$   
обратной последовательности.

### Первый предлагаемый алгоритм.

1 такт. Напряжение фаз  $A, B, C$  подключается ко входам соответственно  $A1, B1, C1$  первого ФСС.

Используя выражение (1), напряжения  $(\dot{U}_{a2b2} \ \dot{U}_{b2c2} \ \dot{U}_{c2a2})^T$  на выходах  $a2, b2, c2$  второго ФСС при выделении НОП могут быть записаны следующим образом ( $\alpha_1 \approx \alpha_2 \approx \gamma_1 \approx \gamma_2 \approx \gamma'_1 \approx \gamma'_2 \rightarrow 0$ ;  $\beta_1 \approx \beta_2 \approx 1$ ):

$$\begin{aligned} (\dot{U}_{a2b2} \ \dot{U}_{b2c2} \ \dot{U}_{c2a2})^T &= \dot{\alpha}_2(\dot{\alpha}_1 \dot{U}_{1(l)} + \dot{\gamma}'_1 \dot{U}_{2(l)})(a_+) + \dot{\gamma}'_2(\dot{\beta}_1 \dot{U}_{2(l)} + \dot{\gamma}_1 \dot{U}_{1(l)})(a_+) + \\ &\quad + \dot{\beta}_2(\dot{\beta}_1 \dot{U}_{2(l)} + \dot{\gamma}_1 \dot{U}_{1(l)})(a_-) + \dot{\gamma}_2(\dot{\alpha}_1 \dot{U}_{1(l)} + \dot{\gamma}'_1 \dot{U}_{2(l)})(a_-) = \\ &= \dot{\alpha}_2 \dot{\alpha}_1 \dot{U}_{1(l)}(a_+) + \dot{\alpha}_2 \dot{\gamma}'_1 \dot{U}_{2(l)}(a_+) + \dot{\gamma}'_2 \dot{\beta}_1 \dot{U}_{2(l)}(a_+) + \dot{\gamma}'_2 \dot{\gamma}_1 \dot{U}_{1(l)}(a_+) + \dot{\beta}_2 \dot{\beta}_1 \dot{U}_{2(l)}(a_-) + \\ &\quad + \dot{\beta}_2 \dot{\gamma}_1 \dot{U}_{1(l)}(a_-) + \dot{\gamma}_2 \dot{\alpha}_1 \dot{U}_{1(l)}(a_-) + \dot{\gamma}_2 \dot{\gamma}'_1 \dot{U}_{2(l)}(a_-) = \dot{\alpha}_1 \dot{\alpha}_2 \dot{U}_{1(l)}(a_+) + \dot{\beta}_1 \dot{\beta}_2 \dot{U}_{2(l)}(a_-) + \\ &\quad + [\dot{\alpha}_2 \dot{\gamma}'_1 \dot{U}_{2(l)}(a_+) + \dot{\gamma}'_2 \dot{\beta}_1 \dot{U}_{2(l)}(a_+) + \dot{\gamma}'_2 \dot{\gamma}_1 \dot{U}_{1(l)}(a_+) + \dot{\beta}_2 \dot{\gamma}_1 \dot{U}_{1(l)}(a_-) + \dot{\gamma}_2 \dot{\alpha}_1 \dot{U}_{1(l)}(a_-) + \dot{\gamma}_2 \dot{\gamma}'_1 \dot{U}_{2(l)}(a_-)] = \\ &= \dot{\alpha}_1 \dot{\alpha}_2 \dot{U}_{1(l)}(a_+) + \dot{\beta}_2 \dot{\beta}_1 \dot{U}_{2(l)}(a_-) + [\dot{k}_1 \dot{U}_{1(l)}(a_+) + \dot{k}_2 \dot{U}_{2(l)}(a_-)], \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\dot{k}_1, \dot{k}_2$  – коэффициенты передачи напряжений соответственно прямой и обратной последовательности, обусловленные неидентичностью вследствие разброса параметров элементов ФСС;

$\dot{k}_1 \dot{U}_{1(l)}(a_+) + \dot{k}_2 \dot{U}_{2(l)}(a_-)$  – суммарная аддитивная векторная погрешность от неидентичности элементов ФСС.

Первое слагаемое в (2) показывает во сколько раз (в  $1/(\alpha_1 \alpha_2)$  раз) ослаблено НПП. Если недостаточно полученного ослабления, можно добавить третий ФСС и т.д.

Только второе слагаемое в (2) пропорционально измеряемому НОП. Составляющие в квадратных скобках представляют собой аддитивную векторную погрешность от неидентичности входных блоков, а также от разброса параметров элементов ФСС. Наибольшую составляющую при одинаковых ФСС вносит слагаемое  $\dot{\beta}_2 \dot{\gamma}_1 \dot{U}_{1(l)}(a_-)$  в квадратных скобках, которое по модулю может быть соизмеримо со вторым слагаемым  $\dot{\beta}_2 \dot{\beta}_1 \dot{U}_{2(l)}(a_-)$  в (2) или даже превосходить его.

Напряжения с выходов  $a2, b2$  поступает через вычитающую схему, фильтр нижних частот на фазочувствительный вольтметр.

2 такт. Осуществляется одновременное переключение входных зажимов первого ФСС и выходных зажимов второго ФСС "по кольцу". Напряжения с выходов  $b2, c2$  подаются через вычитающую схему, фильтр нижних частот на фазочувствительный вольтметр.

Напряжения фаз  $A, B, C$  подключаются соответственно ко входам  $B1, C1, A1$  первого ФСС. Напряжения  $(\dot{U}_{b2c2} \ \dot{U}_{c2a2} \ \dot{U}_{a2b2})^T$  на выходах  $b2, c2, a2$

можно представить:

$$\begin{pmatrix} \dot{U}_{b2c2} & \dot{U}_{c2a2} & \dot{U}_{a2b2} \end{pmatrix}^T = \dot{\alpha}_1 \dot{\alpha}_2 \dot{U}_{1(1)}(a_+) + \dot{\beta}_2 \dot{\beta}_1 \dot{U}_{2(1)}(a_-) + a \left[ \dot{k}_1 \dot{U}_{1(1)\text{погр}}(a_+) + \dot{k}_2 \dot{U}_{2(1)\text{погр}}(a_-) \right]. \quad (3)$$

Как видно из (3), напряжения в квадратных скобках, определяющие погрешность от неидентичности, повернулись на  $120^\circ$  по сравнению с (2).

3 такт. Снова осуществляется одновременное переключение входных зажимов первого ФСС и выходных зажимов второго ФСС "по кольцу".

Напряжения фаз  $A, B, C$  подключается соответственно ко входам  $C1, A1, B1$  первого ФСС. Напряжения с выходов  $c2, a2$  подается через вычитающую схему, фильтр нижних частот на фазочувствительный вольтметр. Напряжение  $\begin{pmatrix} \dot{U}_{c2a2} & \dot{U}_{a2b2} & \dot{U}_{b2c2} \end{pmatrix}^T$  на выходах  $c2, a2, b2$  можно представить

$$\begin{pmatrix} \dot{U}_{c2a2} & \dot{U}_{a2b2} & \dot{U}_{b2c2} \end{pmatrix}^T = \dot{\alpha}_1 \dot{\alpha}_2 \dot{U}_{1(1)}(a_+) + \dot{\beta}_2 \dot{\beta}_1 \dot{U}_{2(1)}(a_-) + a^2 \left[ \dot{k}_1 \dot{U}_{1(1)\text{погр}}(a_+) + \dot{k}_2 \dot{U}_{2(1)\text{погр}}(a_-) \right]. \quad (4)$$

Как видно из (4) напряжения в квадратных скобках, определяющие погрешность от неидентичности, повернулись на  $240^\circ$  по сравнению с (2).

4 такт. Осуществляется алгебраическое сложение результатов измерения первых трех тактов:

$$\begin{pmatrix} \dot{U}_{a2b2} & \dot{U}_{b2c2} & \dot{U}_{c2a2} \end{pmatrix}^T_{\text{рез}} = \begin{pmatrix} \dot{U}_{a2b2} & \dot{U}_{b2c2} & \dot{U}_{c2a2} \end{pmatrix}^T + \begin{pmatrix} \dot{U}_{b2c2} & \dot{U}_{c2a2} & \dot{U}_{a2b2} \end{pmatrix}^T + \begin{pmatrix} \dot{U}_{b2c2} & \dot{U}_{c2a2} & \dot{U}_{a2b2} \end{pmatrix}^T = 3 \left[ \dot{\alpha}_1 \dot{\alpha}_2 \dot{U}_{1(1)}(a_+) + \dot{\beta}_2 \dot{\beta}_1 \dot{U}_{2(1)}(a_-) \right]. \quad (5)$$

При анализе выражения  $\begin{pmatrix} \dot{U}_{a2b2} & \dot{U}_{b2c2} & \dot{U}_{c2a2} \end{pmatrix}^T_{\text{рез}}$  видно, что результат не зависит от неидентичности входных блоков и элементов ФСС расчетным значениям.

**Второй предлагаемый алгоритм.** При реализации этого алгоритма переключается по кольцу только входное трехфазное напряжение. Напряжения с выходов  $a2, b2$  постоянно подается через вычитающую схему, фильтр нижних частот на фазочувствительный вольтметр.

1 такт. Этот такт полностью повторяет 1 такт предыдущего алгоритма.

2 такт. Осуществляется переключение входных зажимов первого ФСС "по кольцу".

Напряжения фаз  $A, B, C$  подключаются соответственно ко входам  $B1, C1, A1$  первого ФСС. Напряжения  $\begin{pmatrix} \dot{U}'_{a2b2} & \dot{U}'_{b2c2} & \dot{U}'_{c2a2} \end{pmatrix}^T$  на выходах  $a2, b2, c2$  можно представить:

$$\begin{pmatrix} \dot{U}'_{a2b2} & \dot{U}'_{b2c2} & \dot{U}'_{c2a2} \end{pmatrix}^T = a \left( \dot{\alpha}_1 \dot{\alpha}_2 \dot{U}_{1(1)}(a_+) + \dot{\beta}_2 \dot{\beta}_1 \dot{U}_{2(1)}(a_-) \right) +$$

$$+ \left[ \dot{k}_1 \dot{U}_{1(l)\text{погр}}(a_+) + \dot{k}_2 \dot{U}_{2(l)\text{погр}}(a_-) \right]. \quad (6)$$

Из (2) и (6) видно, что два первых слагаемых (2) повернулись на  $120^\circ$ .

3 такт. Снова осуществляется переключение входных зажимов первого ФСС "по кольцу".

Напряжения фаз  $A, B, C$  подключаются соответственно ко входам  $C1, A1, B1$  первого ФСС. Напряжения  $\begin{pmatrix} \ddot{U}_{a2b2} & \ddot{U}_{b2c2} & \ddot{U}_{c2a2} \end{pmatrix}^T$  на выходах  $a2, b2, c2$  можно представить:

$$\begin{pmatrix} \ddot{U}_{a2b2} & \ddot{U}_{b2c2} & \ddot{U}_{c2a2} \end{pmatrix}^T = a^2 (\ddot{\alpha}_1 \ddot{\alpha}_2 \dot{U}_{1(l)}(a_+) + \dot{\beta}_1 \dot{\beta}_2 \dot{U}_{2(l)}(a_-)) + \\ + \left[ \dot{k}_1 \dot{U}_{1(l)\text{погр}}(a_+) + \dot{k}_2 \dot{U}_{2(l)\text{погр}}(a_-) \right]. \quad (7)$$

4 такт. Производится сложение результатов измерения первых трех тактов

$$\begin{pmatrix} \dot{U}_{a2b2} & \dot{U}_{b2c2} & \dot{U}_{c2a2} \end{pmatrix}^T_{4\text{рез}} = \begin{pmatrix} \dot{U}_{a2b2} & \dot{U}_{b2c2} & \dot{U}_{c2a2} \end{pmatrix}^T + \begin{pmatrix} \dot{U}'_{a2b2} & \dot{U}'_{b2c2} & \dot{U}'_{c2a2} \end{pmatrix}^T + \\ + \begin{pmatrix} \ddot{U}_{a2b2} & \ddot{U}_{b2c2} & \ddot{U}_{c2a2} \end{pmatrix}^T = 3 \left[ \dot{k}_1 \dot{U}_{1(l)\text{погр}}(a_+) + \dot{k}_2 \dot{U}_{2(l)\text{погр}}(a_-) \right]. \quad (8)$$

То есть результат (8) содержит утроенное значение погрешности от неидентичности.

5 такт. Из результата измерения первого такта (2) вычтем третью часть результата четвертого такта (8)

$$\begin{pmatrix} \dot{U}_{a2b2} & \dot{U}_{b2c2} & \dot{U}_{c2a2} \end{pmatrix}^T_{5\text{рез}} = \begin{pmatrix} \dot{U}_{a2b2} & \dot{U}_{b2c2} & \dot{U}_{c2a2} \end{pmatrix}^T - \left[ \dot{k}_1 \dot{U}_{1(l)\text{погр}}(a_+) + \dot{k}_2 \dot{U}_{2(l)\text{погр}}(a_-) \right] = \\ = \ddot{\alpha}_1 \ddot{\alpha}_2 \dot{U}_{1(l)}(a_+) + \dot{\beta}_2 \dot{\beta}_1 \dot{U}_{2(l)}(a_-). \quad (9)$$

Результат измерения НОП не зависит от неидентичности звеньев ФСС из-за разброса параметров его элементов.

**Выводы.** Проведенный авторами анализ уравнений преобразования ФСС и предложенные алгоритмы показали целесообразность коррекции погрешности от неидентичности звеньев ФСС из-за разброса параметров для повышения точности измерения КНМ. Универсальный измерительный преобразователь на основе ФСС отличается простотой, дешевизной, надежностью, высокой степенью совместимости и однородным построением структурной схемы.

Проведенный анализ уравнений преобразования ФСС позволяет выбрать обобщенную структурную схему для измерителя ПКЭ. Отличительной особенностью структурной схемы является применение предварительного аналогового преобразования ФСС, вносящего меньшую аддитивную погрешность при измерении КНМ, коэффициента несинусоидальности по сравнению с использованием блок-схемы АЦП – АУ. При использовании

блок-схемы АЦП – АУ погрешности от дискретизации, квантования и функционального преобразования вносят значительную погрешность при измерении КНМ.

**Список литературы:** 1. *Щерба А.А.* Анализ уравнений преобразования трехфазных напряжений при каскадном соединении фильтров симметричных составляющих / *А.А. Щерба, Д.К. Маков, С.Н. Захарченко, Н.И. Супруновская* // *Праці Інституту електродинаміки НАН України*. – К., 2005. – № 3 (12). – С. 8-15. 2. *Милих А.Н.* Схемы симметрирования однофазных нагрузок в трехфазных цепях / *А.Н. Милих, А.К. Шидловский, В.Г. Кузнецов* – К.: Наукова думка, 1973. – 219 с. 3. *Фабрикант В.Л.* Фильтры симметричных составляющих / *В.Л. Фабрикант*. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1962. – 424 с. 4. *Taranov S.* High Precision Filter of Symmetrical Components / *S. Taranov* // *International Symposium SPEEDAM, Italy, 1996*. 5. А.с. 742831 (СССР). Устройство для измерения напряжения обратной последовательности / *Д.К. Маков*. – Опубл. в Б.И. 1980. – № 23. 6. *Туз Ю.М.* Структурные методы повышения точности измерительных устройств / *Ю.М. Туз*. – К.: Вища школа, 1976. – 256 с. 7. *Щерба А.А.* Выделение напряжения высших гармоник и напряжения, пропорционального отклонению частоты каскадным соединением фильтров симметричных составляющих / *А.А. Щерба, Д.К. Маков, В.И. Чибелис, Н.И. Супруновская* // *Праці Інституту електродинаміки НАН України*. – К., 2006. – № 1 (13). – С. 115-122. 8. IEEE Working Group P1159, "Recommended practice for monitoring electric power quality --Draft 7", Dec.1994.

*Статья представлена д.т.н. проф. НТУУ "КПИ" Сильвестровым А.Н.*

УДК 621.317.789

**Підвищення точності вимірювання несиметрії трифазної напруги / Маков Д.К., Поворознюк Н.І., Виноградов Ю.М., Услонцев А.Б.** // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2010. – № 21. – С. 111 – 116.

У роботі виконаний аналіз рівнянь перетворення трифазної напруги каскадним з'єднанням фільтрів симетричних складових (ФСС) при вимірюванні коефіцієнта несиметрії (КНМ) основної частоти, запропоновані алгоритми корекції похибок від неідентичності параметрів ланок ФСС спричинені розкидом їх параметрів. Лл.: 1, Бібліогр.: 10 назв.

**Ключові слова:** фільтри симетричних складових (ФСС), коефіцієнт несиметрії (КНМ), алгоритми корекції похибок.

UDK 621.317.789

**Increase of precision of measuring of unsymmetry of three-phase voltage / Makov D.K., Povorozniuk N.I., Vinogradov J.N., Uslonceva A.B.** // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2010. – № 21. – P. 110 – 116.

The analysis of equalizations of transformation of three-phase voltage cascade connection of filters of symmetric constituents (FSC) is in-process executed at measuring of coefficient of unsymmetry (CUS) of fundamental frequency, the algorithms of correction of errors are offered from the unidentity of parameters of links of FSC from variation of their parameters. Figs: 1. Refs: 10 titles.

**Key word:** filter of symmetric constituents (FSC), coefficient of unsymmetry (KUS), algorithms of correction of errors.

*Поступила в редакцію 29.03.2010*